

## MULTI-LAYER FILM REFLECTING MIRROR AND REFLECTING OPTICAL SYSTEM

**Patent number:** JP2001027699  
**Publication date:** 2001-01-30  
**Inventor:** SHIRAISHI MASAYUKI  
**Applicant:** NIKON CORP  
**Classification:**  
- international: G21K5/02; G02B5/08; G03F7/20; G21K1/06; H01L21/027  
- european:  
**Application number:** JP19990200271 19990714  
**Priority number(s):**

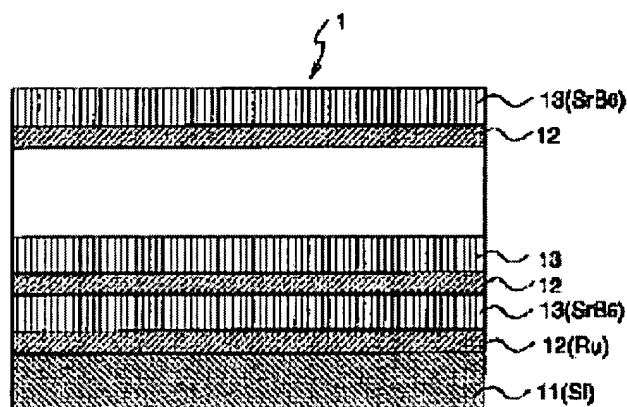
**Also published as:**

 J P2001027699 (A)

### Abstract of JP2001027699

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a multi-layer film reflecting mirror comprising a high reflectivity for soft X-ray region, especially laser plasma X-ray which uses Xe as a target comprising peak wavelength of 10.9 nm.

**SOLUTION:** An Ru12 where a difference between the refractive index at a soft X-ray wavelength region and that of vacuum is large and an SrB6 layer 13 with small one are alternately laminated on an Si substrate 11 to form a multi-layer film reflecting mirror 1. The multi-layer film reflecting mirror 1 provides a high reflectivity at peak wavelength 10.9 nm of laser plasma X-ray using Xe as a target when a cycle length is 56.3 Å, &Gamma value which is the ratio between the layer thickness of Ru layer 12 and cycle length is 0.4, and the number of layers is 80 layer pairs.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-27699

(P2001-27699A)

(43) 公開日 平成13年1月30日 (2001.1.30)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
G 2 1 K 5/02		G 2 1 K 5/02	X 2 H 0 4 2
G 0 2 B 5/08		G 0 2 B 5/08	A 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 3	G 0 3 F 7/20	5 0 3 5 F 0 4 6
G 2 1 K 1/06		G 2 1 K 1/06	M
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 3 1 A
審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)			
(21) 出願番号	特願平11-200271	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 出願日	平成11年7月14日 (1999.7.14)	(72) 発明者	白石 雅之 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内
		(74) 代理人	100084412 弁理士 永井 冬紀 Fターム(参考) 2H042 DA01 DA15 DB02 DC02 DD04 DE00 DE07 2H097 AA05 AB09 CA15 GB01 5F046 GA03 GA04 GA20 GB01 GB07 GC03

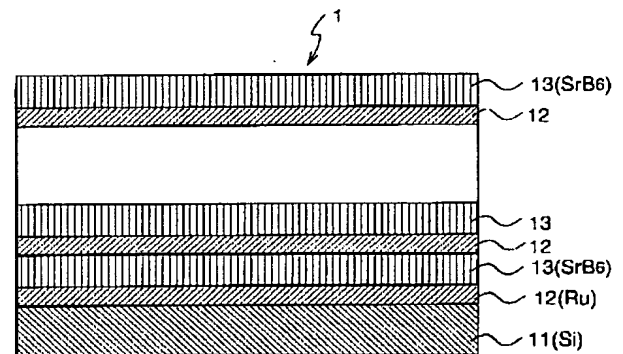
(54) 【発明の名称】 多層膜反射鏡および反射光学系

(57) 【要約】

【課題】 軟X線領域、特に、ピーク波長10.9nmを有するターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線において高い反射率を有する多層膜反射鏡の提供。

【解決手段】 軟X線波長域における屈折率と真空の屈折率との差が大きいRu12と前記差が小さいSrBe層13を、Si基板11上に交互に積層して多層膜反射鏡1を形成した。この多層膜反射鏡1は、周期長を56.3Å、Ru層12の層厚と周期長との比であるΓの値を0.4、積層数を80層対としたときに、ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線のピーク波長10.9nmにおいて高い反射率を有する。

【図1】



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 軟 X 線波長域における屈折率と真空の屈折率との差が大きい物質で形成される第 1 の層と、前記差が小さい物質で形成される第 2 の層とから成る層対を、基板上に複数積層して成る多層膜反射鏡において、前記第 2 の層を形成する物質として、ホウ化ストロンチウムまたはイットリウムを用いたことを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の多層膜反射鏡において、前記第 1 の層を形成する物質として、ルテニウムまたはロジウムを用いたことを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の多層膜反射鏡において、前記層対の層厚である周期長、および前記第 1 の層と前記第 2 の層との層厚比を調整して、多層膜の反射率の中心波長が略 10.9nm となるようにしたことを特徴とする多層膜反射鏡。

【請求項 4】 ターゲットにキセノンを用いたレーザープラズマ X 線源を用いる装置の反射光学系において、請求項 3 に記載の多層膜反射鏡を複数有することを特徴とする反射光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、X 線望遠鏡、X 線レーザー、X 線リソグラフィー等の X 線装置に用いられる多層膜反射鏡および反射光学系に関する。

## 【0002】

【従来の技術】物質の複素屈折率は式 (1) で表されるが、X 線領域においては  $\delta$ 、 $k$  のいずれもが 1 に比べて非常に小さいため、X 線を用いる装置の光学系には反射光学系が用いられる。

【数 1】  $n = 1 - \delta - i \cdot k$  … (1)

式 (1) において、 $i^2 = -1$  であり、虚部  $k$  は物質による X 線の吸収を表す。

【0003】しかし、全反射を利用した斜入射光学系の場合には、全反射臨界角  $\theta_c$  よりも小さい垂直に近い入射角では反射率が非常に小さい。そのため、X 線領域で使用される反射光学系では、界面の振幅反射率の大きな 2 種類の物質を交互に積層して多数の反射面を形成した多層膜反射鏡が用いられている。各層の厚さは、光学干渉理論に基づいて、各界面で反射された反射波の位相が一致するように設定される。このとき、積層される物質の一方には、使用 X 線波長における屈折率と真空の屈折率 (= 1) との差が小さい物質が用いられ、他方の物質には前記差の大きな物質が用いられる。

【0004】また、多層膜反射鏡は垂直に X 線を反射することも可能なので、垂直反射を利用した光学系では、全反射を利用した斜め入射光学系より収差を小さくすることができる。さらに、多層膜反射鏡は式 (2) で表さ

れるブラッグ条件を満たすときだけ X 線を強く反射するので、波長選択性という性質を点有している。

【数 2】  $2d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$  … (2)

式 (2) において、 $d$  は多層膜の周期長、 $\theta$  は斜入射角、 $\lambda$  は X 線の波長、 $m$  は次数である。

【0005】多層膜反射鏡に用いられる多層膜の例としては、W (タングステン) と C (炭素) とを交互に積層した W/C 多層膜や、Mo (モリブデン) と C とを積層した Mo/C 多層膜などが従来から知られている。なお、これらの多層膜はスパッタリングや真空蒸着や CVD (Chemical Vapor Deposition) 等の薄膜形成技術により形成される。

【0006】このような多層膜反射鏡に用いられる多層膜の中でも、Mo/Si 多層膜は Si の L 吸収端 (波長 12.6nm) の長波長側で高い反射率を示し、13nm 付近の波長において 60% 以上の反射率 (直入射) を有する多層膜を比較的容易に作製することができる。また、Mo/Be 多層膜では、波長 11.1nm にある Be (ベリリウム) の K 吸収端の長波長側で高い反射率を示すことが知られており、この場合にも 13nm 付近の波長において 60% 以上の反射率を有する多層膜を比較的容易に作製することができる。

【0007】このような Mo/Si 多層膜や Mo/Be 多層膜による反射鏡は、X 線望遠鏡や X 線レーザー共振器などの研究分野で使用されており、EUVL (Extreme Ultraviolet Lithography) と呼ばれる軟 X 線を用いた縮小投影リソグラフィー技術への応用が期待されている。この EUVL 用の軟 X 線光源としては、放射光の他にレーザープラズマ X 線などが知られている。レーザープラズマ X 線とは、真空中で気体状または固体状のターゲットにレーザー光を照射することで気体または固体がプラズマ状態となり、このプラズマから発生する X 線のことを言う。発生する X 線のスペクトルは、用いられるターゲットの種類に固有のスペクトルとなる。

【0008】レーザープラズマ X 線では、ターゲットに固体を用いた場合にデブリ (debris) と呼ばれる飛散粒子が発生し、光学系にダメージを与えるという問題がある。そのため、ガスをターゲットに用いたレーザープラズマ X 線が最近注目されており、例えば、ガスタarget として Xe (キセノン) ガスを用いた研究が行われている (Glenn D. Kubiak, et al., SPIE vol. 3331, 1998)。レーザープラズマ X 線のターゲットに Xe ガスを用いた場合、波長 10.9nm 付近で X 線強度が最も強くなる。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、波長 10.9nm は Si および Be のそれぞれの吸収端の短波長側であるため、Si、Be の X 線吸収が大きくなり、Mo/Si 多層膜および Mo/Be 多層膜のいずれの場合にも高い反射率を得ることができない。通常、Mo/Si 多層膜および Mo/Be 多層膜ではそれぞれ 13nm 付近、

11nm付近の波長のX線が用いられるため、ピーク波長10.9nmのレーザープラズマX線を用いた場合には、ピーク波長から外れた波長の光を利用することになる。レーザープラズマX線では、13nm付近および11nm付近の波長のX線強度は、ピーク強度（ピーク波長でのX線強度）の数分の1しかないため、光源強度を有効に活用できないという欠点があった。また、Mo/Be多層膜については、BeおよびBe化合物は毒性が強く取り扱いが厄介であるという問題がある。

【0010】本発明の目的は、軟X線領域、特に、Xeガスをを用いたレーザープラズマX線のピーク波長である波長10.9nmのX線において、高い反射率を有する多層膜反射鏡および反射光学系を提供することにある。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】発明の実施の形態を示す図1に対応付けて説明する。

(1) 請求項1の発明は、軟X線波長域における屈折率と真空の屈折率との差が大きい物質で形成される第1の層12と、前記差が小さい物質で形成される第2の層13とから成る層対を、基板11上に複数積層して成る多層膜反射鏡1に適用され、第2の層13を形成する物質として、ホウ化ストロンチウムを用いたことにより上述の目的を達成する。

(2) 請求項2の発明は、請求項1に記載の多層膜反射鏡1において、第1の層12を形成する物質として、ル

$$r = (n_2 - n_1) / (n_2 + n_1) \\ = \{(\delta_1 - \delta_2 + i(k_1 - k_2))\} / \{(\delta_1 + \delta_2 - 2) + i(k_1 - k_2)\} \\ \dots (3)$$

ここで、 $i^2 = -1$ 、 $k$ は物質の吸収を表す定数である。多層膜反射鏡に用いられる物質には $k$ の小さな（吸収の小さな）ものが用いられるため、 $\delta \gg k$ となり、式

(3)は次式(4)のように近似することができる。

#### 【数4】

$r = (\delta_1 - \delta_2) / (\delta_1 + \delta_2 - 2) \dots (4)$   
したがって、多層膜界面での反射率を高くするためには、 $\delta$ の差( $= \delta_1 - \delta_2$ )が大きい物質の組み合わせを用いるのが良い。

【0014】本発明者は、上述した条件、すなわち、物質の $k$ の値が小さく、かつ、二つの物質の $\delta$ の差が大きなものについて多数の物質の組み合わせを検討した結果、 $\delta$ の小さな物質としてSrBe（ホウ化ストロンチウム）やY（イットリウム）を用い、 $\delta$ の大きな物質としてRu（ルテニウム）やRh（ロジウム）を用いると、軟X線領域、特に、ターゲットにXe（キセノン）を用いたレーザープラズマX線のピーク波長10.9nmに対して高い反射率を有する多層膜反射鏡を製造する上で好ましいことが判明した。

【0015】特に、以下の①、②に示す物質の組み合わせで形成された多層膜は、ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線のピーク波長10.9nmに対して高い反

テニウムを用いたものである。

(3) 請求項3の発明は、請求項1または請求項2に記載の多層膜反射鏡において、層対の層厚である周期長、および第1の層12と第2の層13との層厚比を調整して、多層膜の反射率の中心波長が略10.9nmとなるようにしたものである。

(4) 請求項4の発明は、ターゲットにキセノンを用いたレーザープラズマX線源を用いる装置の反射光学系に適用され、請求項3に記載の多層膜反射鏡を複数有することにより上述の目的を達成する。

【0012】なお、本発明の構成を説明する上記課題を解決するための手段の項では、本発明を分かり易くするために発明の実施の形態の図を用いたが、これにより本発明が発明の実施の形態に限定されるものではない。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】以下、図1～図5および図9を参照して本発明の実施の形態を説明する。多層膜反射鏡の反射率を高めるためには、多層膜に使用する材料の選択が最も重要であり、各界面での反射率が高くなるような材料を用いるのが良い。垂直入射の場合における多層膜界面での振幅反射率 $r$ は、多層膜を構成する二つの物質の屈折率をそれぞれ $n_1 = 1 - \delta_1 - i \cdot k_1$ 、 $n_2 = 1 - \delta_2 - i \cdot k_2$ としたとき、フレネルの式(3)で与えられる。

#### 【数3】

射率を有することが分かった。

①SrBe（ホウ化ストロンチウム）とRu（ルテニウム）とによる多層膜

②Y（イットリウム）とRuとによる多層膜

図1はSrBeとRuとを用いたRu/SrBe多層膜反射鏡1の断面図であり、Si基板やガラス基板等の基板11上にRu層12とSrBe層13とを交互に積層したものである。

【0016】ここで、基板上に上記の多層膜を形成する際には、多層膜の最上層の物質として酸化等の化学変化を起こしにくい物質を選ぶのが好ましく、そうすることによって多層膜反射鏡の経時変化を低減することができる。Ru/SrBe多層膜の場合にはSrBe層を最上層にするのが好ましく、Ru/Y多層膜の場合にはRu層を最上層にするのが好ましい。

【0017】図2はターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線のスペクトル強度を示す図であり、縦軸はX線強度、横軸は波長をそれぞれ表す。レーザープラズマX線のピーク波長は10.9nmであり、その波長におけるX線強度（ピーク強度）はMo/Si多層膜で利用される波長13.1nm付近の強度の約7.9倍になっている。さらに、Mo/Be多層膜で利用される11.4nm付近の波長

のX線強度と比較した場合でも1.7倍となっている。そこで、多層膜の反射ピーク波長をXeを用いたレーザープラズマX線のピーク波長10.9nmに合わせることで、光源からのレーザープラズマX線を有効に利用することができる。

【0018】次いで、軟X線を使用した縮小投影露光装置の光学系に、上述したRu/SrBe多層膜反射鏡を用いた場合について説明する。図3は軟X線露光装置の概略構成を、光学系を中心に示したものである。この露光装置はステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行う投影露光装置であり、反射型マスク5に描画された回路パターンの一部の像を投影光学系6を介してウェハ8上に投影しつつ、マスク5とウェハ8とを投影光学系6に対して一次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することにより、マスク5の回路パターンの全体をウェハ8上の複数のショット領域（1ステップ領域）の各々にステップ・アンド・スキャン方式で転写する。

【0019】図3に示す装置では、照明光学系3は2つのミラー3a、3bで構成され、投影光学系6は4つのミラー6a～6dで構成されている。したがって、図3の露光装置は、6枚のミラーと1枚の反射型マスク5とで構成される反射光学系を備えている。各ミラー3a、3b、6a～6dには、上述したRu/SrBe多層膜が形成されている。2はレーザープラズマX線を発生する光源であり、光源2から出射されたX線は、反射鏡3a、3bにより反射されて、ケーラー照明によりレチクルステージ4に支持された反射型マスク5上に照射される。

【0020】図9は反射鏡3aの平面図であり、反射鏡3aは、反射型マスク5への照明領域と相似形を有した凹面反射面95を複数有した反射鏡である。これらの反射面95はどれも同じ焦点距離を有し、2次光源を形成して反射鏡3aにより平行光となり反射型マスク5上に照射される。

【0021】反射型マスク5上にはRu/SrBe多層膜から成る反射膜パターンが設けられており、この反射膜パターンはウェハ8上へ転写すべきパターンに対応したパターン形状を有している。このマスク5により反射されてマスク5のパターン情報を含むX線は、投影光学系6に入射する。

【0022】投影光学系6は、凹面形状の第1ミラー6a、凸面形状の第2ミラー6b、凹面形状の第3ミラー6cおよび凹面形状の第4ミラー6dで構成されており、それぞれの光軸が共軸となるように配置されている。なお、各ミラー6a～6dは、それらにより形成される往復光路を遮断しないような形状とされており、第3ミラー6cの位置には、不図示の開口絞りが設けられている。

【0023】マスク5で反射されたX線は、第1ミラー6a～第4ミラー6dにより順次反射されて、ウェハ8

上の露光領域内に所定倍率 $\beta$ （例えば、 $|\beta|=1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ ）でマスク5のパターンの縮小像を形成する。なお、マスク5はレチクルステージ4により少なくともY方向に沿って移動可能とされ、ウェハ8はXYZの三方向に沿って移動可能なウェハステージ7により支持されている。露光動作の際には、マスク5およびウェハ8を、投影光学系6の縮小倍率により定まる所定の速度比で互いに逆方向に移動させる。これによりウェハ8上の所定のショット領域内には、マスク5のパターンが走査露光される。

【0024】次に、光源に図2に示すようなスペクトルを有するXeをターゲットにしたレーザープラズマX線源を用い、光学系3、6および反射型マスク5の多層膜にMo/Si多層膜（50層対）を用いた場合と、Ru/SrBe多層膜（80層対）を用いた場合とを比較する。これらの多層膜が理論反射率（垂直入射）を有すると仮定して考えると、Mo/Si多層膜の反射率は75.2%、Ru/SrBe多層膜の反射率は62.4%である。光学系3、6および反射型マスク5は7枚のミラーから成る反射光学系を構成しており、この反射光学系を通過したX線の強度を図2に示したレーザープラズマX線のスペクトル強度を考慮して計算すると、Mo/Si多層膜を用いた場合の強度を100とすると、Ru/SrBe多層膜を用いた場合の強度は114となる。

【0025】図4は7枚のミラー（例えば、図3のミラー3a、3b、6a、6b、6c、6dおよびマスク5）から成る反射光学系の反射率およびX線強度を示す図であり、横軸はX線の波長を、縦軸の左側目盛が反射率を、縦軸の右側目盛が強度を表している。図4において、MS1およびMS2は、Mo/Si多層膜の場合の反射率、およびその多層膜反射鏡を7枚用いた反射光学系を通過したときのX線強度を示している。一方、RS1およびRS2は、Ru/SrBe多層膜の場合の反射率、およびその多層膜反射鏡を7枚用いた反射光学系を通過したときのX線強度を示している。また、点線で示した曲線Xe-LPXはXeをターゲットにしたレーザープラズマX線のスペクトル強度を示している。

【0026】図4に示すように、Mo/Si多層膜を用いた反射光学系は波長13.1nm付近のX線だけが反射され、Ru/SrBe多層膜を用いた反射光学系では波長10.9nm付近のX線だけが反射される。反射率MS1、RS1を比較するとMo/Si多層膜を用いたほうが大きい。レーザープラズマX線のスペクトル強度は波長13.1nm付近にピークがあるため、X線強度に関してはRS2の方がMS2より大きくなる。反射光学系を通過するX線の強度は曲線RS2、MS2と横軸とで囲まれる領域の面積で表され、上述したようにMo/Si多層膜の場合を100とするとRu/SrBe多層膜の場合は114となる。

【0027】現在、Mo/Si多層膜で反射率の高いものとしては約67.5%のものが得られている（C.Montca

lm, et al., SPIE vol. 3331, 1998)。そこで、上述の反射光学系に反射率67.5%のMo/Si多層膜を用いて得られるX線強度と同等のX線強度をRu/SrB<sub>6</sub>

$$A = 0.624 \times (0.675 / 0.752) / (1.14^{1/7}) \dots (5)$$

式(5)からAは0.55となり、Ru/SrB<sub>6</sub>多層膜の反射率が55%あれば反射率67.5%のMo/Si多層膜を用いた場合と同等のX線強度が得られる。

【0028】この反射率55%はRu/SrB<sub>6</sub>多層膜の理想反射率62.4%より低いので、55%以上の反射率を有するRu/SrB<sub>6</sub>多層膜を作製すれば、Mo/Si多層膜を用いた場合より反射X線強度が高い光学系(7枚ミラーの光学系)を得ることができる。また、Mo/Si多層膜反射鏡で使用している波長13.1nmのX線より短い波長10.9nmを有するX線が用いられるため、より微細なパターンを投影することが可能となる。

【0029】上述した比較では、Mo/Si多層膜として波長13.1nmに反射率のピークを有する一般的な多層膜を例に説明したが、計算によれば図5に示すような波長10.9nmにピークを有するMo/Si多層膜も可能である。このMo/Si多層膜は周期長55.63Å、Mo層の層厚と周期長との比であるΓの値は0.4であり、積層数は50層対である。波長10.9nmでの反射率(理想反射率)は30.1%となる。この反射率は上述したRu/SrB<sub>6</sub>多層膜の理想反射率より低いので、X線強度の点ではRu/SrB<sub>6</sub>多層膜の方が有利であり、光学系を構成するミラーの枚数が増えるほど有利性が増す。

【0030】ところで、Ru/SrB<sub>6</sub>多層膜の積層数を変えたときの理論反射率を計算すると、50層対で60.5%、80層対で62.4%、100層対で62.5%であった。このことから、反射率は80層対でほぼ飽和すると考えられる。

【0031】なお、ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線源を光源に用いなければならない場合には、以下の実施例で示すY(イットリウム)をSrB<sub>6</sub>の代わりに用いても構わない。このイットリウムという物質も吸収端が10.9nmより短い波長であるので、10.9nmでの反射率はMo/Si多層膜から成る反射鏡よりも良い。また、ルテニウムの代わりに、ほぼ同じ光学定数を有するロジウム(Rh)を用いても良い。

#### 【0032】

【実施例】(実施例1)本実施例の多層膜反射鏡では上述した図1に示すRu/SrB<sub>6</sub>多層膜と同一構造を有しており、Si基板11上にRu層12とSrB<sub>6</sub>層13とを交互に積層したRu/SrB<sub>6</sub>多層膜を、Ru、SrB<sub>6</sub>の各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより形成したものである(図1参照)。Ru/SrB<sub>6</sub>多層膜の周期長は56.3Å、Ru層の層厚と周期長との比であるΓの値は0.4であり、積層数は80層対とした。図6は、このRu/SrB<sub>6</sub>多層膜の反

多層膜で得るためには、Ru/SrB<sub>6</sub>多層膜の反射率Aは次式(5)で計算される。

#### 【数5】

射率(計算値)を波長に関して示したものであり、波長10.9nmにおける反射率は62.4%である。また、作製したRu/SrB<sub>6</sub>多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、反射率57%が得られた。この値は、軟X線縮小リソグラフィに用いる多層膜反射鏡として十分なものである。

【0033】(実施例2)図7に実施例2の多層膜反射鏡9の断面図を示す。この多層膜反射鏡9は、Si基板91上にY層92とRu層93とを交互に積層したRu/Y多層膜を、Ru、Yの各ターゲットを用いてイオンビームスパッタリングにより形成したものである。Ru/Y多層膜の周期長は56.2Å、Ru層の層厚と周期長との比であるΓの値は0.4であり、積層数は80層対とした。図8はRu/Y多層膜の反射率(計算値)を波長に関して示したものであり、波長10.9nmにおける反射率は63.8%である。また、作製したRu/Y多層膜の垂直入射の軟X線反射率を放射光を用いて実測したところ、反射率56%が得られた。この値は、軟X線縮小リソグラフィに用いる多層膜反射鏡として十分なものである。

【0034】なお、多層膜反射鏡に用いるホウ化ストロンチウムに関して、その化学量論比はSr:B=1:6のものだけに限られるものではない。実際、成膜時における膜物質の化学量論比は、この値から変動しても光学的には大きな影響が無い。

【0035】以上説明した実施の形態と特許請求の範囲の要素との対応において、Ru層12および93は第1の層を、SrB<sub>6</sub>層13およびY層92は第2の層をそれぞれ構成する。

#### 【0036】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1~請求項3の発明によれば、軟X線領域において高い反射率を有する多層膜反射鏡を得ることができる。特に請求項3の発明では、ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線のピーク波長10.9nmのX線に対して高い反射率を有しているため、例えば、ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線を光源として用いる露光装置では、光源からのX線を有効に利用することができる。また、請求項4の発明によれば、ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線源からのX線を有効に利用できる反射光学系が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による多層膜反射鏡の断面図。

【図2】ターゲットにXeを用いたレーザープラズマX線のスペクトル強度を示す図。

【図3】本発明による多層膜反射鏡を光学系に用いた露

光装置の概略図。

【図 4】 7 枚のミラーから成る反射光学系の反射率および X 線強度を示す図。

【図 5】 波長 10.9nm に反射ピークを有する Mo/Si 多層膜の理想反射率を示す図。

【図 6】 Ru/SrB<sub>6</sub> 多層膜の理想反射率を示す図。

【図 7】 実施例 2 の多層膜反射鏡 9 の断面図。

【図 8】 Ru/Y 多層膜の理想反射率を示す図。

【図 9】 反射鏡 3a の概要図。

【符号の説明】

1, 9 多層膜反射鏡

2 光源

3 照明光学系

4 レチクルステージ

5 反射型マスク

6 投影光学系

7 ウェハステージ

8 ウェハ

11, 91 Si 基板

12, 93 Ru 層

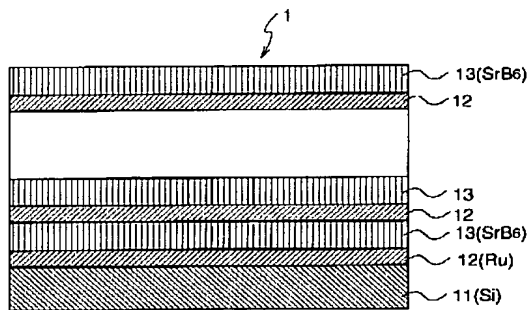
13 SrB<sub>6</sub> 層

10 92 Y 層

95 凹面反射面

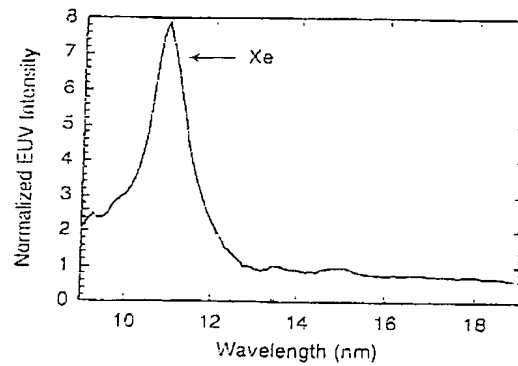
【図 1】

【図 1】



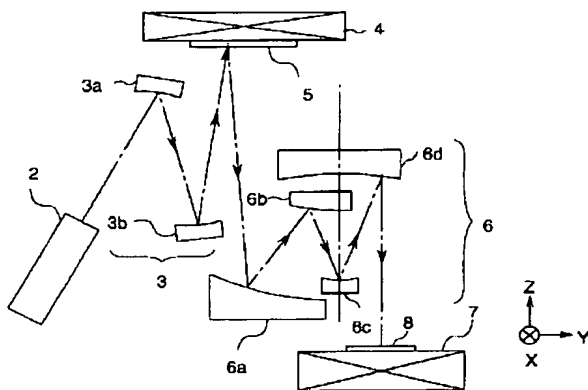
【図 2】

【図 2】



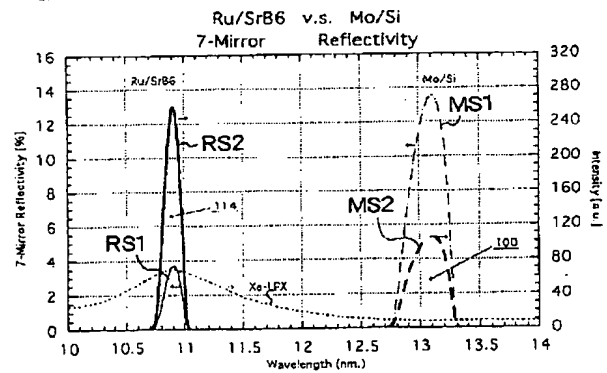
【図 3】

【図 3】



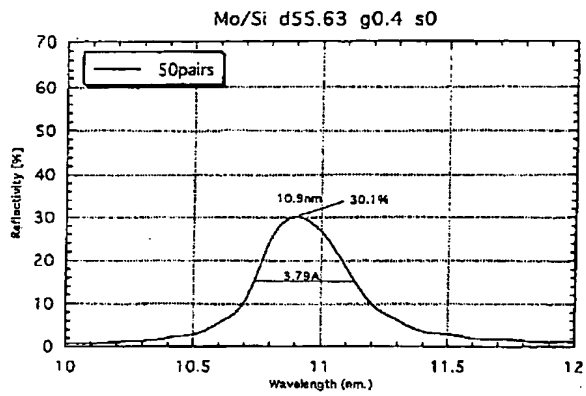
【図 4】

【図 4】



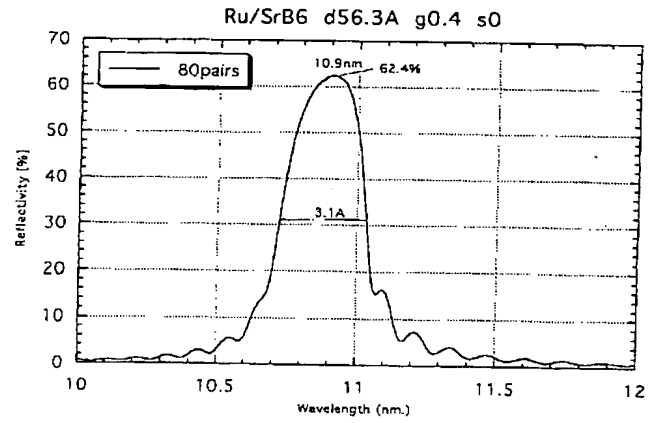
【図 5】

【図 5】



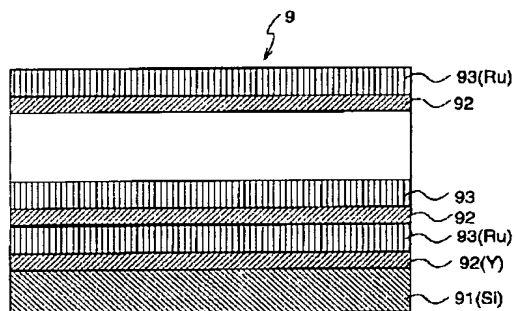
【図 6】

【図 6】



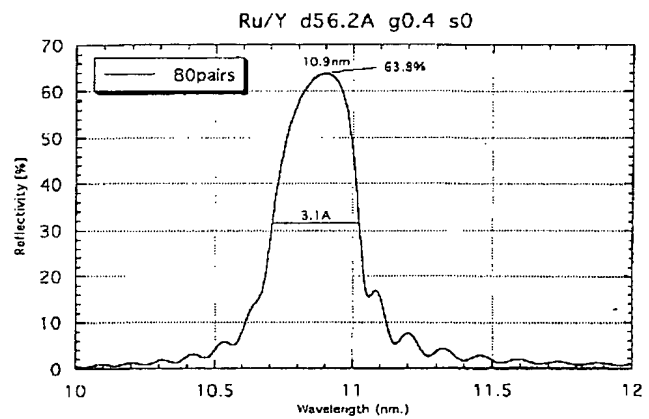
【図 7】

【図 7】



【図 8】

【図 8】





【図 9】

【図 9】

